

Prevención de Riesgos Medioambientales

**M^a Encarnación Rodríguez Hurtado
Doctor Ingeniero Industrial
Catedrática de Universidad
E. T. S. I. I. MADRID**

INDICE

1. Ciclos en la naturaleza. Necesidad de una gestión unitaria del medio ambiente	1
2. De las materias primas al producto final: peligros, riesgos y seguridad	3
3. Peligros naturales y tecnológicos	8
4. La prevención de la contaminación como herramienta de gestión empresarial	9
5. Causas de contaminación del medio hídrico. Prevención. Tratamientos	11
5.1. Prevención de la contaminación hídrica. Aprovechamiento de las aguas residuales industriales	12
5.2. Sistemas de depuración	13
5.3. Criterios de selección de los diferentes sistemas de tratamiento	15
6. Causas de contaminación del medio atmosférico. Prevención. Tratamientos	17
6.1. Fuentes de contaminación atmosférica	17
6.2. Prevención de la contaminación atmosférica	18
6.3. Sistemas de Depuración	19
7. Generación de residuos industriales. Prevención. Tratamientos	24
7.1. Tratamiento de residuos	25
7.1.1. Tratamiento de residuos asimilables a urbanos	25
7.1.2. Tratamiento de residuos peligrosos	26
Bibliografía	26
Anexo	29

1. Ciclos en la naturaleza. Necesidad de una gestión unitaria del medio ambiente

La vida en la Tierra se desarrolla en la parte más externa de su corteza. En ella existen los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso y se recibe la energía externa del Sol. Todo ser vivo, animal o vegetal, necesita estar abierto al medio exterior para extraer de él energía y conseguir nutrientes necesarios para su metabolismo al tiempo que vierte en el medio una serie de materiales resultado de su actividad fisiológica.

Odum (1971) definió un *ecosistema* como *una unidad que incluye la totalidad de los organismos vivos de un territorio determinado, que actúan interrelacionados y con reciprocidad con el medio físico, de modo que una corriente de energía conduce a una estructura trófica, a una diversidad biótica y a ciclos materiales claramente definidos*. De esta forma, el medio influye sobre el ser vivo, el ser vivo influye y modifica al medio que le rodea y los seres vivos que comparten un territorio se influyen mutuamente. Dentro de los ecosistemas, se denominan *artificiales* o *forzados* a los creados por el hombre con un fin determinado que, suele ser, la producción masiva de determinados bienes.

Los seres humanos actúan sobre la naturaleza de forma decisiva. Las modificaciones que producen son, en ocasiones, deliberadas para favorecer las especies que necesitan mientras que, en otras, los efectos son imprevistos lo que no quiere decir que sean negativos. Generalmente, las acciones humanas están encaminadas a mejorar la calidad de vida que es el patrón que guía nuestras actividades. En ese concepto de calidad de vida se incluyen valores como: alimentos, educación, cultura y esparcimiento.

Son, aproximadamente, treinta los elementos químicos esenciales para los **organismos vivos**. Los **ciclos biogeoquímicos** comprenden la circulación de estos elementos entre el medio inorgánico y la materia orgánica. En algunos ciclos los elementos se encuentran, predominantemente, en forma gaseosa como el oxígeno y el nitrógeno, mientras que en otros ciclos, los elementos se encuentran en fase principalmente sedimentaria como es el caso del fósforo y azufre. El elemento fundamental de la materia orgánica es el **carbono**. En la naturaleza está presente, principalmente, en los carbonatos de las rocas y en el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera. Los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) son, también, depósitos importantes de carbono.

La **respiración** y la **fotosíntesis** son los dos fenómenos biológicos claves en la circulación de carbono. Por la fotosíntesis, se elaboran las sustancias bioquímicas y se capta energía solar. Mediante la respiración, los seres vivos transforman la energía recibida en forma de nutrientes en trabajo necesario para su desplazamiento, mantenimiento, crecimiento y reproducción. El efecto humano sobre el ciclo del carbono se materializa, fundamentalmente, en la generación de energía a partir de combustibles fósiles.

El **oxígeno** es otro elemento clave en la naturaleza. Su ciclo es complicado porque puede combinarse químicamente de muchas formas y puede presentarse, a su vez con dos combinaciones moleculares: O₂ y O₃. La primera es la forma común en la oxidación de la materia orgánica mientras que la segunda (denominada ozono) contribuye a protegernos de la radiación solar ultravioleta. La estabilidad de muchos compuestos químicos de los que forma parte el oxígeno hace que su ciclo, en algunos casos, pueda detenerse para incorporarse al cabo de mucho tiempo después.

El **nitrógeno** constituye una parte importante de la vida. El nitrógeno gaseoso constituye el 79 %, aproximadamente, de la atmósfera. Solo es asimilable en estas condiciones por

las algas verdiazules así como algunos hongos y bacterias. A su vez, cuando la materia orgánica se descompone, se liberan compuestos nitrogenados algunos de los cuales pueden ser asimilados por los vegetales mientras que, los restantes se liberan a la atmósfera como nitrógeno gaseoso por la acción de las bacterias desnitrificantes. La acción humana sobre el ciclo de este elemento se materializa en la fabricación de fertilizantes nitrogenados a partir de nitrógeno atmosférico y en los vertidos a las aguas superficiales de compuestos nitrogenados que desencadenan un crecimiento excesivo de la vegetación (eutrofización) con pérdida de oxígeno en dichas aguas.

El **fósforo** es, también, un elemento imprescindible para el desarrollo de la vida aunque se precisa en menor cantidad que los anteriores. El fósforo se presenta en forma de depósitos minerales rocosos. La liberación de sales fosfóricas solubles de estas rocas permite que el fósforo sea asimilado por los vegetales con lo que se pone en marcha la parte biológica del ciclo que termina en el suelo por efecto de la descomposición de la materia orgánica. Desde suelo y agua, el fósforo puede ir a las profundidades marinas como nuevo depósito mineral o puede volver a incorporarse a los seres vivos.

Pueden considerarse, también, los ciclos de los restantes elementos de importancia para los seres vivos lo que resulta de gran interés si quiere analizarse el papel de los seres humanos en la transformación de la biosfera. No obstante, este objetivo excede los límites de este texto por lo que simplemente merece apuntarse que, como resultado de la actividad humana aparecen, en ocasiones, elementos con ciclos poco dinámicos como es el caso, por ejemplo, de los llamados metales pesados de efectos bastante perjudiciales debido a su bioacumulación.

Los diferentes **recursos** empleados en nuestra actividad económica (agua, madera, alimentos, petróleo, hierro, etc.) participan, según se ha señalado, en un sistema dinámico e interconectado que es la Tierra cuyo presente y futuro hay que proteger. Esto implica, en primer lugar, disponer de un plan de actuación consecuente con este objetivo y, en segundo lugar, actuar de acuerdo con él.

En el campo de la actividad industrial hay que tener en cuenta que todo proceso productivo puede causar, en mayor o menor medida, molestias e incluso peligro para su propio entorno. Este riesgo es patente, no solo, durante el conjunto de operaciones y procesos que conducen a la transformación de materias primas en productos de consumo sino que puede manifestarse en los desechos generados durante el proceso o, debido a las características del propio producto fabricado.

2.- De las materias primas al producto final: peligros, riesgos y seguridad

Al abordar el impacto que un producto puede tener sobre el medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida, es conveniente tener en cuenta los conceptos de peligro, riesgo y seguridad.

El **peligro** está ligado a las propiedades intrínsecas del producto y es una forma potencial de perjuicio o daño para personas, bienes o el entorno. Hay varias formas de identificar el peligro de un producto:

- Examen de las propiedades físico- químicas
- Examen de su reactividad en animales de laboratorio (toxicidad) y en especies naturales (ecotoxicidad) extrapolando, posteriormente, este comportamiento frente al ser humano y el medio ambiente

Riesgo es la probabilidad de estar expuesto a un peligro. Este es un tema clave ya que no es posible modificar las propiedades de un producto sin cambiar su estructura pero, sin embargo, es posible reducir y controlar los riesgos a su exposición a lo largo de las etapas de fabricación, almacenamiento, distribución y utilización.

Los peligros son las fuentes de riesgos. La **seguridad** es el estado en el que los riesgos se consideran aceptables. Para alcanzar este estado, los peligros deben considerarse en un contexto muy amplio tratando de relacionar las actividades que las personas pueden realizar con la tecnología disponible.

La identificación de **riesgos medioambientales** exige experiencia en procesos productivos, técnicas de defensa del medio ambiente, legislación medioambiental y metodología de evaluación de impactos ambientales.

Por otra parte, la Administración Pública debe tener una visión clara de estos riesgos a la hora de actuar en la concesión o suspensión de licencias de actividad, control de la observancia de normas legales, etc. Así mismo, desde su posición de responsable total en el control del medio ambiente, debe conocer la ubicación e importancia de las potenciales fuentes de contaminación.

Las actividades humanas causantes de problemas medioambientales son: agricultura, silvicultura, pesca, energía, industria, transporte y turismo.

Los problemas medioambientales ligados a la agricultura son:

- Restos de pesticidas y fertilizantes en los alimentos, agua y suelo con el peligro asociado de estas sustancias químicas para la salud humana
- Ausencia de “buenas prácticas agrícolas” con el peligro de pérdida de flora y fauna
- Empleo excesivo de fertilizantes con la lixiviación de éstos y su difusión en aguas subterráneas y superficiales lo que implica contaminación del agua
- Emisión de amoníaco, y óxidos de nitrógeno con la correspondiente contaminación del aire
- Riego excesivo o escaso con el peligro de agotamiento de acuíferos y salinización de suelos y acuíferos
- Empleo de maquinaria pesada y vertido de fangos con metales pesados con el peligro de compactación de suelos, erosión y contaminación
- Vertido de residuos que contaminan el aire

En el caso de la silvicultura, los monocultivos y las prácticas intensivas son un peligro para la diversidad de especies. También genera problemas de erosión y empobrecimiento del suelo. Algunas especies (coníferas y eucaliptos) debido a que son inflamables presentan problemas de incendios con impactos locales importantes.

La pesca intensiva tiene el peligro de pérdida de recursos y la destrucción global de flora y fauna. La acuicultura tiene un impacto medioambiental notable por la generación de residuos en el medio acuático.

La energía es un elemento fundamental en la vida económica y social. Su impacto en el medio ambiente no solo es función de la cantidad de energía demandada sino de la manera en la que ésta se produce y utiliza. La incidencia medioambiental de la producción de energía es la contaminación del aire asociada a la combustión de recursos fósiles. En el caso de la energía nuclear, el peligro está asociado a las instalaciones y a los residuos generados. Las energías renovables, a pesar de que se suelen presentar como ambientalmente favorables, no están exentas de problemas.

En el caso de la industria, algunos sectores tienen por su gran capacidad de producción y por las propiedades de los productos que manejan unos efectos considerables sobre el medio ambiente. En la Unión Europea se aprobó en 1996 la Directiva 96/61 de 24 de septiembre relativa a la prevención y control integrados de la contaminación en la que se establecen medidas para evitar o, cuando ello no sea posible, reducir las emisiones de las actividades objeto de control (tabla 1) en la atmósfera, el agua y el suelo con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medio ambiente considerado en su conjunto.

Por contaminación se entiende la introducción directa o indirecta, mediante la actividad humana, de sustancias, vibraciones, calor o ruido en la atmósfera, el agua o el suelo, que pueden tener efectos perjudiciales para la salud humana o la calidad del medio ambiente, o que puedan causar daños a los bienes materiales o deteriorar o perjudicar el disfrute u otras utilidades legítimas del medio ambiente.

TABLA 1

ACTIVIDADES INDUSTRIALES CONTEMPLADAS EN LA DIRECTIVA IPPC

1. Industria energética

1.1 Instalaciones de combustión, con una producción mayor de 50 MW.

1.2 Refinerías.

1.3 Coquerías.

1.4 Instalaciones de gasificación y licuefacción de carbón.

2. Producción y transformación de metales

2.1 Instalaciones de calcinación y sintetización de minerales metálicos.

2.2 Instalaciones para la producción de fundición y acero de más de 2,5 toneladas por hora.

2.3 Instalaciones de transformación de materiales ferrosos.

2.4 Fundiciones de metales ferrosos con capacidad de producción de más de 20 toneladas por día.

2.5 Instalaciones:

a) Para la producción de metales en bruto no ferrosos a partir de minerales, concentrados o materias primas secundarias.

b) Para la fusión de metales no ferrosos con una capacidad de mas de 4 toneladas para plomo y cadmio o 20 toneladas para los demás metales, por día.

2.6 Instalaciones para el tratamiento de superficie de metales y materiales plásticos por procedimiento electrolítico o químico, cuando el volumen de las cubetas de tratamiento sea superior a 30 m³.

3. Industrias minerales

3.1 Producción de cemento clínker con capacidad superior a 500 toneladas diarias y de cal con capacidad superior a 50 toneladas por día.

3.2 Producción de amianto.

3.3 Producción de vidrio incluida la fibra de vidrio con capacidad de fusión superior a 20 toneladas por día.

3.4 Fundición de materias minerales, incluida la fabricación de fibras minerales con una capacidad superior a 20 toneladas por día.

3.5 Fabricación de productos cerámicos con capacidad superior a 75 toneladas diarias y/o capacidad de horneado de más de 4 m³ y de más de 300 kg/m³ de carga por horno.

4. Industria química

4.1 Instalaciones para la fabricación de productos químicos orgánicos de base, en particular: hidrocarburos, compuestos orgánicos metálicos, materias plásticas de base, cauchos sintéticos, colorantes y pigmentos, tensioactivos y agentes de superficie.

4.2 Instalaciones para la fabricación de compuestos químicos inorgánicos de base como: gases, ácidos, bases, sales y no metales.

4.3 Instalaciones de fabricación de fertilizantes.

4.4 Instalaciones de fabricación de productos de base fitofarmacéuticos y biocidas.

4.5 Instalaciones de fabricación de medicamentos de base.

4.6 Instalaciones de fabricación de explosivos.

5. Gestión de residuos

5.1 Instalaciones de valorización o eliminación de residuos peligrosos.

5.2 Instalaciones para la incineración de residuos municipales.

5.3 Instalaciones para la eliminación o aprovechamiento de los residuos no peligrosos.

5.4 Vertederos que reciban más de 10 toneladas por día o que tengan capacidad total de más de 25000 toneladas con exclusión de los vertederos de residuos inertes.

6. Otras actividades

6.1 Instalaciones industriales destinadas a la fabricación de:

b) Papel y cartón con capacidad de más de 20 toneladas diarias

a) pasta de papel

6.2 Instalaciones para tratamiento previo o tinte de fibras o productos textiles con capacidad de más de 10 toneladas diarias

6.3 Instalaciones para el curtido de cueros con capacidad superior a 10 toneladas diarias

6.4 a) Mataderos con capacidad de producción de canales superior a 50 toneladas diarias

b) Tratamiento y transformación destinados a la fabricación de productos alimenticios a partir de:

- materia prima animal con capacidad de producción de productos acabados superior a 75 toneladas diarias

- materia prima vegetal con capacidad de producción de productos acabados superior a 300 toneladas diarias

c) Tratamiento y transformación de leche con capacidad superior a 200 toneladas diarias

6.5 Instalaciones para eliminación o aprovechamiento de canales o desechos de animales

- con capacidad superior a 10 toneladas diarias.
- 6.6 Instalaciones destinadas a la cría intensiva de aves de corral o cerdos que dispongan de más de : 40.000 emplazamientos para aves de corral, 2000 emplazamientos para cerdos de cría (de más de 30 kg) o 750 emplazamientos para cerdas
- 6.7 Instalaciones para el tratamiento de superficie de materiales con utilización de disolventes orgánicos con consumo de mas de 150 kg de disolvente por hora o más de 200 toneladas al año.
- 6.8 Instalaciones para fabricación de carbono o electrografito

En la tabla 2 se presenta una relación de sustancias que tienen que tomarse en consideración para controlar sus límites de emisión tanto al aire como al agua teniendo en cuenta tanto su naturaleza como el potencial de traslados de contaminación de un medio a otro (agua, aire y suelo).

TABLA 2

LISTA INDICATIVA DE LAS PRINCIPALES SUSTANCIAS CONTAMINANTES QUE SE TOMARAN OBLIGATORIAMENTE EN CONSIDERACION SI SON PERTINENTES PARA FIJAR VALORES LIMITE DE EMSIONES

ATMOSFERA

1. Oxidos de azufre y otros compuestos de azufre
2. Oxidos de nitrógeno y otros compuestos de nitrógeno
3. Monóxido de carbono
4. Compuestos orgánicos volátiles
5. Metales y sus compuestos
6. Polvos
7. Amianto (partículas en suspensión, fibras)
8. Cloro y sus compuestos
9. Fluor y sus compuestos
10. Arsénico y sus compuestos
11. Cianuros
12. Sustancias y preparados respecto de los cuales se haya demostrado que poseen propiedades cancerígenas, mutágenas o puedan afectar a la reproducción a través del aire
13. Policlorodibenzodioxinas y policlorodibenzofuranos

AGUA

1. Compuestos organohalogenados y sustancias que los pueden formar en el agua
2. Compuestos organofosforados
3. Compuestos organoestánicos
4. Sustancias y preparados cuyas propiedades cancerígenas, mutágenas o que puedan afectar a la reproducción en el medio acuático o vía el medio ambiente acuático estén demostradas
5. Hidrocarburos persistentes y sustancias orgánicas tóxicas persistentes y

- bioacumulables
6. Cianuros
 7. Metales y sus compuestos
 8. Arsénico y sus compuestos
 9. Biocidas y productos fitosanitarios
 10. Materias en suspensión
 11. Sustancias que contribuyen a la eutrofización (en particular nitratos y fosfatos)
 12. Sustancias que ejercen una influencia desfavorable sobre el balance de oxígeno (y computables mediante parámetros tales como DBO y DQO)
-

La actividad industrial genera, pues, una influencia muy notable sobre el medio ambiente. Entre los riesgos que la actividad industrial tiene para el medio ambiente cabe señalar: contaminación del suelo, contaminación del aire, contaminación del agua, ruido y accidentes por explosión, incendio o fugas.

El transporte constituye algo más que un simple sector de actividad económica. Su impacto sobre el medio ambiente es variado y complejo. El transporte es la principal fuente de emisión de contaminantes atmosféricos. Por su parte, el transporte marítimo contribuye, en gran medida, a la contaminación marina. El transporte es, a su vez, fuente de ruido. Cualquier tipo de transporte presenta riesgos de accidentes por incendio y explosión.

En lo referente al turismo, cabe señalar que entre sus problemas medioambientales destacan los de ordenación del territorio, gestión de residuos y contaminación del agua.

3.- Peligros naturales y tecnológicos

Es importante disponer de información básica sobre peligros naturales y tecnológicos. A este respecto, conviene tener en cuenta que desde finales de la década de los 80, los peligros naturales tienen mayor impacto medioambiental que los de origen humano. En 1997, se contabilizaron en la Unión Europea un total de 37 accidentes industriales graves, la cifra más alta en el periodo iniciado en 1985.

La importancia de los peligros naturales debería tenerse en cuenta en los programas medioambientales para poder controlar su incidencia.

La mayoría de los accidentes industriales graves se deben a un número simultáneo de causas como son: error de los operadores, fallo de algún componente de la instalación y reacciones químicas incontroladas. Concretamente, las dos primeras han sido las causas que han originado el 67% de los accidentes severos en la Unión Europea en el periodo 1985-1997 según el registro MARS (Major Accident Reporting System).

Aunque suelen asociarse los accidentes a las instalaciones químicas, hay otros sectores responsables de accidentes graves. Cabe citar la actividad agrícola, el transporte de mercancías peligrosas y el transporte de viajeros o de otras mercancías. Así, los accidentes relacionados con los vertidos de petróleo en el mar ligados a su transporte son especialmente conocidos. Aunque no hay evidencia de daños irreversibles causados por los grandes vertidos de petróleo ni por los pequeños y continuos derrames, es posible que un seguimiento continuado durante largos periodos ponga en evidencia, en el futuro, los efectos crónicos de estos peligros.

Según la base de datos MARS, los accidentes severos en la Unión Europea en el periodo 1985-1997 fueron 312. El reparto accidentes en función de las consecuencias que ocasionaron queda como sigue:

Sin consecuencias o de pequeña importancia: 43 accidentes

Con heridos:

- en la instalación: 94 accidentes
- alejados de la instalación: 26 accidentes

Con muertos:

- en la instalación: 47 accidentes
- alejados de la instalación: 16 accidentes

Daños ecológicos: 21 accidentes

Con pérdidas materiales cuantificadas:

- en la instalación: 57 accidentes
- alejadas de la instalación: 9 accidentes

Alteraciones de la vida comunitaria: 121 accidentes

(Dado que un mismo accidente puede provocar distintos efectos, resulta que la suma de accidentes de la relación anterior supera al número total de accidentes acaecidos en el periodo).

Según la información disponible, dos terceras partes de los accidentes produjeron daños ecológicos por contaminación del agua

En relación con la contaminación del agua, uno de los peligros mayores es el de los vertidos de petróleo cuyas causas en el periodo 1970-1997 fueron: 34% encalladuras,

29% colisiones, 13% fallos en el casco, 7% explosiones e incendios, 5% pérdidas en cargas y descargas y 12% otras. Estos porcentajes corresponden a un total de 294 vertidos.

Un área en la que es difícil predecir la localización de un accidente es el transporte. En particular, las consecuencias de la rotura de una tubería pueden ser graves debido a las importantes pérdidas de fluidos que pueden producirse antes de poder cortarlas. La llamada Directiva Seveso II de la Unión Europea no incluye las tuberías por lo que ésta es un área en el que deberán tomarse medidas con vistas a la incorporación de países del este de Europa a la Unión, teniendo en cuenta la magnitud de este transporte en esos países.

4.- La prevención de la contaminación como herramienta de gestión empresarial

El incremento de restricciones medioambientales, bien en el ámbito legislativo o bien a través del desarrollo de instrumentos económicos ha tenido varias consecuencias para la dinámica empresarial:

- ◆ Transformación parcial y sectorial del escenario de competitividad de las empresas al introducir nuevos elementos en la estructura de costes.
- ◆ Apertura de nuevos escenarios para la actividad empresarial como el reciclado
- ◆ Evolución de las tecnologías productivas buscando el ahorro de recursos y un menor impacto medioambiental negativo de su actividad. Estas tecnologías de ahorro suponen una mejora general de la productividad.

Por otra parte, el acicate que supone el desarrollo de políticas ambientales ha movido a algunas empresas a poner en marcha “códigos de conducta” que buscan situaciones de equilibrio ambiental.

Actualmente, los instrumentos de gestión medioambiental de la empresa son: estudios de impacto ambiental, auditorías medioambientales, análisis de riesgos y análisis medioambiental del ciclo de vida.

Las evaluaciones de impacto ambiental son un instrumento de carácter preventivo en tanto que tratan de anteponerse a las acciones que puedan suponer un impacto negativo en el medio.

Las auditorías medioambientales son un instrumento para la actualización periódica de los procesos de fabricación industrial así como de las instalaciones de depuración.

El análisis medioambiental del ciclo de vida de productos y procesos es la evaluación objetiva, sistemática y científica de los efectos medioambientales y sobre la salud humana asociados a un producto, proceso o actividad durante su ciclo de vida completo.

Los principios de la política ambiental en la empresa deben promover la creación y utilización de unos códigos y prácticas de actuación que se fundamenten en la formación y sensibilización de todo el personal.

También debe establecerse una comunicación interna y externa de las actividades productivas y sus riesgos. La comunicación externa debe incluir las recomendaciones a clientes sobre el uso de productos y tratamiento de residuos así como las relativas a proveedores, contratistas y subcontratistas.

5.- Causas de contaminación del medio hídrico. Prevención. Tratamientos

Por **contaminación del agua** se entiende "la acción y efecto de introducir en el agua materias o formas de energía o inducir condiciones que de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica".

Las estaciones o plantas depuradoras de agua contaminada o residual tienen por objeto suplir la falta de capacidad autodepuradora del medio ambiente debida al exceso de carga. En este sentido, una planta depuradora realiza la misma labor que kilómetros de río.

El fin de la depuración es obtener un agua cuya contaminación se limite a un grado tal que su vertido al medio receptor no suponga una merma en la calidad de éste.

En cualquier núcleo de población podemos tener agua residual de diversa procedencia que, con carácter general se clasifica en:

agua residual doméstica. Es la que procede de domicilios, locales públicos, instalaciones comerciales, establecimientos sanitarios, etc.

agua residual industrial. Es la que procede de plantas de fabricación o transformación de productos.

agua de lluvia. Es la resultante de la escorrentía superficial.

Las características de las aguas residuales pueden clasificarse en: físicas, químicas y biológicas. Estas características dependen de la composición, es decir del contenido de contaminantes.

El contenido total en sólidos (disueltos y en suspensión) es lo que confiere a las aguas sus propiedades físicas de color, olor y sabor. Otra de las características físicas más importantes es la temperatura.

La temperatura del agua es un valor muy importante ya que influye en el desarrollo de la vida acuática, velocidades de reacciones químicas y solubilidad del oxígeno.

Las características químicas de las aguas contaminadas se deben a la materia orgánica, inorgánica y gases.

Los aspectos biológicos más interesantes relacionados con las aguas son los correspondientes a los microorganismos que se encuentran en ellas, los organismos patógenos y los organismos empleados como indicadores de contaminación. Los principales microorganismos presentes en las aguas son: bacterias, hongos, protozoos y algas. La temperatura y el pH juegan un papel vital en la vida de los microorganismos.

La composición y volumen de las aguas residuales puede variar para un mismo núcleo de población o instalación industrial de hora a hora, de día a día y de año a año. Por tanto, con vistas a su tratamiento hay que tener siempre presente que el buen funcionamiento de una planta depuradora dependerá de la realización previa de un estudio minucioso tendente a tratar de evitar perturbaciones posteriores.

La consideración de los criterios económicos permite afirmar que no hay un sistema de tratamiento que sea mejor que otro con carácter general sino que, el mejor tratamiento será el que se ponga en marcha como resultado de considerar en cada caso diversas alternativas viables y eligiendo entre ellas la de menor coste global

En las plantas industriales, el agua tiene una serie de importantes aplicaciones que la hacen insustituible y ese uso es el que provoca su contaminación. Las utilizaciones más frecuentes del agua son como: fluido refrigerante, materia prima para la fabricación de vapor, reactivo y diluyente, medio de limpieza y de lucha contra incendios

La captación del agua se realiza de cauces naturales o de acuíferos subterráneos. Dado que las impurezas presentes en el agua pueden causar problemas importantes en las conducciones y equipos industriales con los que se mantenga en contacto, es imprescindible no solo conocer y cuantificar dichas impurezas sino eliminarlas, total o parcialmente, para controlar sus efectos.

Por motivos económicos, los niveles de calidad del agua tratada deben ser diferentes en función de la utilización prevista. El sistema de tratamiento se lleva a cabo escalonadamente en diferentes unidades de tratamiento dando lugar a los diferentes tipos de agua industrial que se distribuyen por la fábrica mediante tuberías independientes. Existen dos redes de agua que son exclusivos de la industria alimentaria y que requieren especial atención en lo que respecta a su calidad. Son el agua de lavado de envases y el agua empleada en tratamiento térmico (pasterización).

Con carácter general, los tratamientos a los que se someten las aguas de uso industrial o doméstico para poder consumirlas, se agrupan en: tratamientos para eliminar los sólidos en suspensión, tratamientos para eliminar los sólidos disueltos y tratamientos complementarios destinados a la eliminación de gases y desinfección.

El coste del tratamiento de agua es muy importante y puede llegar a condicionar la viabilidad de una actividad industrial. En términos generales, el coste es tanto mayor cuanto peor sea la calidad del agua bruta.

La escasez de agua en países de gran densidad de población y altamente industrializados junto con la necesidad de depurar los efluentes contaminados plantea la conveniencia de reciclar, en lo posible, el agua empleada.

5.1.- Prevención de la contaminación hídrica. Aprovechamiento de las aguas residuales industriales

Las tecnologías de fabricación que tienen como objetivo minimizar la producción de cualquier efluente y, por tanto, prevenir la contaminación se encuadran en lo que se ha venido en llamar "tecnologías limpias", "tecnologías sin residuos" o "tecnologías poco contaminante".

Si se desea conseguir que los procesos industriales sean respetuosos con el medio ambiente hay que combinar, de forma razonable, lo "tradicional" con la "innovación". La tradición está representada por el tratamiento más o menos convencional de las aguas residuales lo que supone admitir que es imposible prescindir del hecho de que hay que tratar el agua. La innovación está representada por los procesos de fabricación que tratan de reducir al mínimo la generación de agua residual por la vía de su sustitución por otros

elementos, cuando es posible, y también por el camino de evitar su despilfarro. La innovación implica una actitud investigadora que trate de conseguir unas condiciones óptimas de operación que, garantizando una adecuada calidad del producto fabricado, minimicen el impacto negativo sobre el medio ambiente.

En el caso del agua, la "tecnología blanda" comprende la producción de vapor y agua de refrigeración en circuito cerrado lo que supone que solamente se produzcan al exterior las corrientes de purgas.

Todo aprovechamiento debe basarse en el conocimiento cualitativo y cuantitativo de las corrientes de agua producidas. También hay que plantearse la agrupación o segregación de efluentes y finalmente la elección de los sistemas de tratamiento y aprovechamiento más adecuados.

Es preciso, pues que se realice un estudio minucioso de la planta industrial a la hora de planificar el aprovechamiento del agua en la misma ya que cualquier elemento peligroso que no se tenga en cuenta puede perturbar seriamente los tratamientos propuestos.

Los datos necesarios para evaluar la gestión del agua residual en la industria deben abarcar:

- ◆ Volúmenes por ciclo productivo
- ◆ Caudales máximos y mínimos (Valores numéricos y duración de los mismos)
- ◆ Características del agua de aporte a la fábrica
- ◆ Tipo de fabricación (continua o discontinua)
- ◆ Composición de los efluentes
- ◆ Posibilidad de mezcla o segregación de efluentes
- ◆ Contaminantes claves en el ciclo productivo
- ◆ Tratamientos disponibles para la eliminación de contaminantes

En la depuración de aguas residuales es necesario partir de un principio básico: **A un cauce público nunca debería hacerse un vertido que pueda ocasionar un desequilibrio, es decir, que sobrepase su capacidad de autodepuración.** Esto debe entenderse, también, en el sentido de que no hay porqué depurar más de lo necesario o lo que es lo mismo, gastar sin motivo.

5.2.- Sistemas de depuración

El **tratamiento convencional** de las aguas residuales agrupa las operaciones y procesos en: tratamiento primario, secundario y terciario (o avanzado).

El tratamiento primario tiene por objeto eliminar las partículas en suspensión así como los aceites y grasas por medios físicos y químicos.

El tratamiento secundario denominado también biológico tiene como objetivo la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica.

En el tratamiento terciario se emplean combinaciones de operaciones unitarias, procesos químicos y biológicos para eliminar componentes que permanecen en el agua después de las etapas anteriores. En él pueden eliminarse nutrientes (N y P), sustancias orgánicas no biodegradables, metales pesados, gérmenes patógenos, etc.

Las plantas depuradoras de aguas urbanas e industriales que lo precisen deben tener antes del tratamiento primario un conjunto de equipos que permitan eliminar los materiales que por su tamaño y naturaleza puedan crear problemas en las operaciones posteriores. Esta eliminación se realiza en el llamado pretratamiento. En el se eliminan, principalmente, sólidos de gran tamaño y arenas. En algunas ocasiones, la eliminación de grasas y aceites se incluye en estas operaciones.

Las principales operaciones y procesos que pueden incluirse en el tratamiento primario son: sedimentación, flotación y separación de grasas y aceites. También puede incluirse, caso de que sea necesario, una neutralización. En el caso de un esquema de tratamiento físico-químico, la coagulación-floculación característica de éste se coloca como una etapa intermedia entre el pretratamiento y el tratamiento primario propiamente dicho.

Los objetivos del tratamiento biológico se consiguen mediante una amplia variedad de microorganismos, principalmente bacterias.

Los microorganismos utilizan la materia orgánica presente en las aguas residuales como fuente de materia y energía. La asimilación de la materia orgánica se traduce en una presencia de tejido celular que, al tener un peso específico ligeramente superior al del agua, puede eliminarse por decantación. Es importante señalar que, a menos que se separe de la solución el tejido celular, no se conseguirá el tratamiento completo porque el tejido celular vendrá medido como DBO del efluente.

Los procesos biológicos empleados en el tratamiento del agua residual se clasifican en tres grupos principales: aerobios, anaerobios y anóxicos. En cada uno de estos grupos, los microorganismos pueden estar en suspensión o sobre un soporte fijo.

A igualdad de condiciones, es más económico buscar la energía vital en procesos aerobios. Como la multiplicación celular es más abundante en medio aerobio, la degradación es más rápida en este medio.

El tratamiento biológico anaerobio se emplea con aguas residuales fuertemente contaminantes. También se emplea en la estabilización de fangos.

TABLA 3
OPERACIONES Y PROCESOS EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES

COMPONENTES	SISTEMA DE SEPARACION
-------------	-----------------------

<ul style="list-style-type: none"> * SOLIDOS GRUESOS Y FIBROSOS * ACEITES Y GRASAS * SOLIDOS MENOS GRUESOS * PARTICULAS COLOIDALES * SUSTANCIAS ORGANICAS DISUELTAS * AMONIACO * SUSTANCIAS ORGANICAS COLOIDALES Y DISUELTAS NO FLOCUL. NI BIODEG. * SUSTANCIAS INORGANICAS DISUELTAS * GASES * BACTERIAS Y OTROS PATOGENOS * FANGOS O LODOS 	<p>TAMIZADO SEPARACION LIQUIDO-LIQUIDO DECANTACION, FLOTACION O FILTRACION COAGULACION Y FLOCULACION OXIDACION BIOLOGICA OXIDACION BIOLOGICA ADSORCION</p> <p>PRECIPIT.+DECANT. O FILTRACION ULTRAFILT., O. INVERSA O DIALISIS INTERCAMBIO IONICO "STRIPPING" DESINFECCION ESPESAMIENTO, DESHIDRATAACION</p>
---	--

Dentro de los procesos aerobios, el más empleado es el llamado de fangos o lodos activos del que existen diversas variantes. Este proceso se desarrolló en Inglaterra en 1914. Recibe este nombre porque en el proceso se forma una masa activa de microorganismos capaces de estabilizar un residuo aeróbicamente. Este medio aerobio se consigue mediante difusores (solución habitual en las EDAR) o mediante aeradores mecánicos. Ambos sistemas deben servir, a su vez, para mantener el líquido completamente mezclado en un regimen de mezcla completa.

Las balsas de estabilización construidas en el terreno con profundidades de 1 a 2 m. constituyen el proceso más sencillo de oxidación biológica.

En el caso de las balsas de estabilización, para lograr reducciones importantes de la contaminación, las cargas deben ser bajas lo que requiere grandes extensiones de terreno. Las algas constituyen la principal fuente de oxígeno de estos sistemas, sin embargo, la aeración natural superficial puede aportar una cantidad adicional de este elemento.

Las lagunas aireadas son similares a las balsas de estabilización excepto en lo que se refiere al suministro de oxígeno, que se realiza mediante aireadores mecánicos superficiales. Esto permite una mejora del rendimiento y una reducción, por tanto, de la superficie necesaria. Los aireadores sirven también para mezclar el contenido de la laguna, evitando la sedimentación de los sólidos en suspensión. Las lagunas aireadas equivalen a un sistema de lodos activos sin recirculación.

Los filtros percoladores tienen un relleno que es de material plástico de formas regulares alcanzando profundidades de hasta 15 m. El agua residual se distribuye por la parte superior del lecho mediante boquillas de pulverización montadas en sus sistemas rotatorios. Los filtros tienen un drenaje en la parte inferior para recoger el agua depurada y favorecer la aireación.

Como alternativa al tratamiento convencional se presenta el tratamiento físico-químico en el que se aprovechan las propiedades coagulantes y floculantes de algunos reactivos químicos para romper la estructura coloidal del agua residual y formar flóculos que aglutinan la mayor parte de la contaminación. El tratamiento físico-químico puede resolver los problemas de los efluentes que tienen un aporte importante de contaminación industrial que puede actuar como inhibidora de los procesos biológicos. También es adecuado para condiciones de carga y caudal muy cambiantes. Puede actuar como tratamiento completo en condiciones de vertido poco exigentes (emisarios submarinos y

aguas superficiales con buen nivel autodepurador). A su vez, sirve para limitar el aporte de fósforo a los cauces receptores. Sirve como tratamiento terciario de afino para mejorar las calidades de los vertidos.

El tratamiento físico- químico de aguas residuales puede emplearse como un tratamiento combinado con los procesos biológicos para optimizar costes y rendimientos de depuración. Dependiendo del punto de adición de los reactivos con respecto a la etapa biológica, los tratamientos mixtos (físico-químico combinado con biológico) se denominan de preprecipitación, coprecipitación y postprecipitación.

Es importante tener presente que la carga contaminante o los productos que se han formado durante el tratamiento se reúnen formando lodos o fangos que suelen necesitar un tratamiento posterior que permita su transporte para vertido o uso como fertilizantes (más bien correctores de suelos) o bien para aprovechar su contenido energético.

5.3.- Criterios de selección de los diferentes sistemas de tratamiento

El tipo de proceso a elegir para una depuración dependerá de una combinación de factores como son:

- ◆ Caudal y carga contaminante del agua residual
- ◆ Calidad requerida para el agua depurada
- ◆ Inversión y costes de explotación
- ◆ Facilidad para la evacuación o utilización de los fangos que, pueden ser el gran problema de una planta.

Ante las posibles limitaciones presupuestarias deberían adoptarse compromisos entre inversión-calidad y costes-calidad basados en el principio de que es preferible y urgente depurar aunque sea parcialmente que esperar sin depuración hasta tener el dinero disponible para depurar totalmente. También es preferible depurar en tres municipios ,aunque no sea exhaustivamente, que depurar totalmente, pero sólo en uno.

6.- Causas de contaminación del medio atmosférico. Prevención. Tratamientos

Se considera contaminación atmosférica a la introducción en la atmósfera, por acción humana, directa o indirecta, de sustancias o de energía que tengan una acción nociva de tal naturaleza que ponga en peligro la salud del hombre, que cause daños a los recursos biológicos y a los ecosistemas, que deteriore los bienes materiales y que dañe o perjudique las actividades recreativas y otras utilidades legítimas del medio ambiente.

La presencia de contaminantes en la atmósfera se expresa en unidades de concentración relacionando la masa de contaminante con el volumen de aire (mg/m^3 , $\mu\text{g/m}^3$, ng/m^3). En el caso de contaminantes gaseosos también suele expresarse su concentración en ppm (partes por millón) en volumen y ppb (partes por billón) también en volumen.

No hay que menospreciar la contaminación debida a diversas formas de energía como pueden ser las radiaciones ionizantes y el ruido aunque por sus especiales características reciben un tratamiento legal y técnico específico.

El **dióxido de carbono** no es propiamente un contaminante aunque, al igual que el vapor de agua, en grandes cantidades parece que pueden contribuir a alterar el clima y los ecosistemas en cuyo caso ambos pasarían a considerarse contaminantes.

Las **partículas sólidas o líquidas** que se mantienen en suspensión en el aire presentan una gran dispersión de tamaños y una constitución química muy variada en función de su procedencia. Entre las partículas también hay contaminantes bioquímicos como virus, bacterias y mohos.

Por reacciones químicas en la atmósfera o en la hidrosfera se pueden formar contaminantes secundarios como: dióxido de nitrógeno (NO_2) y nitratos (MNO_3) a partir de óxido nítrico (NO) y amoníaco (NH_3), trióxido de azufre (SO_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4) y sulfatos (MSO_4) a partir de dióxido de azufre (SO_2) y ácido sulfhídrico (H_2S), así como, ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF) y cloro (Cl_2) a partir de derivados halogenados orgánicos. También puede formarse dióxido de carbono (CO_2) a partir de monóxido de carbono (CO) y ozono (O_3) a partir de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (NO_x).

Los componentes gaseosos de la atmósfera y los contaminantes que puedan estar en ella se desplazan debido, principalmente, al viento y los gradientes de temperatura. Sin embargo, la topografía de una región y las condiciones climatológicas pueden hacer que el aire se inmovilice temporalmente formando una bolsa lo que puede provocar aumentos locales de la concentración de contaminantes.

6.1.- Fuentes de contaminación atmosférica

La mayor parte de los contaminantes primarios importantes se generan como resultado de procesos de combustión ya sea para obtener energía mecánica (vehículos y aviones), térmica (calefacciones y procesos industriales) y eléctrica (centrales térmicas).

La combustión es una oxidación de combustibles con el oxígeno del aire que tiene lugar mediante una serie de reacciones en cadena.

Si la combustión se verificara con un cien por cien de rendimiento y los combustibles

tuvieran en su composición, solamente, elementos oxidables como el carbono y el hidrógeno, los productos originados podrían considerarse inocuos. Sucede, sin embargo, que los combustibles sólidos y líquidos tienen azufre en su composición por lo que la combustión da lugar a la formación de dióxido de azufre (SO₂) y, en algunos casos, trióxido de azufre (SO₃).

Por otra parte, a altas temperaturas se producen, también, óxidos de nitrógeno (NO_x) en los procesos de combustión por reacción del nitrógeno y oxígeno del aire.

Las partículas se producen, fundamentalmente, por una mala combustión. En el caso de combustibles sólidos, las partículas son las llamadas cenizas volantes que están formadas, principalmente, por la materia inorgánica del carbón (sílice, alúmina, óxidos de hierro, óxidos de calcio, óxidos de magnesio, etc.). Una parte de las cenizas producidas en la combustión quedan retenidas en el horno o en la caldera como escorias. El resto son arrastradas en los gases que salen por la chimenea de ahí el nombre de cenizas volantes.

La combustión de productos petrolíferos genera partículas sólidas muy finas que pueden aglomerarse formando pavesas. Se trata de partículas sólidas carbonosas e hidrocarburos muy pesados. Las combustiones incompletas pueden producir también hidrocarburos policíclicos, especialmente hidrocarburos aromáticos. Desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, las características más importantes de los combustibles líquidos son el contenido en azufre y la viscosidad.

En la tabla 4 se presenta un resumen de la generación de los principales contaminantes atmosféricos según sectores de actividad en 1995 y las proyecciones para 2010.

6.2.- Prevención de la contaminación atmosférica

Una gestión medioambiental adecuada sólo puede entenderse desde la óptica de evitar la formación de contaminantes.

**TABLA 4
DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES
ATMOSFERICOS EN LA UNION EUROPEA SEGÚN SUS FUENTES**

Sector	SO ₂		NO _x		NH ₃		COVNM	
	1995	2010	1995	2010	1995	2010	1995	2010
Energía	58	49	19	19	0	0	0	0
Industria	25	32	12	17	2	2	8	13
Agricultura	0	0	0	0	94	95	*	*
Transporte	7	7	63	55	4	3	40	29
Otros	10	12	6	10	0	0	52*	58*

Fuente: Comisión Europea, 1999

* Los compuestos orgánicos volátiles (COV) de la agricultura se han incluido en "Otros". La contribución principal a "Otros" en lo que a COV se refiere procede de los disolventes tanto de uso industrial como doméstico.

En el caso de la contaminación atmosférica se trata de elegir los combustibles adecuados y un diseño óptimo del sistema de combustión tanto en lo referente al transporte como a

la generación de energía eléctrica. Por su parte, la incineración de residuos debe realizarse empleando los métodos más adecuados a cada tipo de residuo. En el caso de actividades industriales hay que estudiar cada proceso para optimizar las operaciones de fabricación en el sentido de minimizar los residuos pero considerando, a su vez, los criterios de rentabilidad económica.

En la tabla 5 se presentan los objetivos de reducción de los principales contaminantes atmosféricos hasta el 2010 en la Unión Europea.

6.3.- Sistemas de depuración

Desde el punto de vista de los sistemas empleados en la depuración de gases es conveniente la clasificación de los posibles contaminantes en: partículas y gases ya que hay equipos especializados en cada tipo de separaciones aunque, también los hay con carácter mixto. El 80 por 100 de las partículas de origen industrial tienen un tamaño comprendido entre 10^{-1} y 10^{-2} μm .

**TABLA 5
OBJETIVOS DE REDUCCION DE EMISIONES ATMOSFERICAS EN LA UNION
EUROPEA (EU15), (KTONELADAS)**

Contaminante	1990	2010	Reducción
SO ₂	16.300	4.800	71%
NO _x	13.200	7.300	45%
NH ₃	3.600	2.900	14%
COV	14.000	7.200	49%

Fuente: Comisión Europea, 1999

Los contaminantes gaseosos tienen un tamaño comprendido entre 10^{-3} y 10^{-5} μm . Con objeto de hacer una captación adecuada de estos contaminantes hay que tener en cuenta factores tales como su naturaleza química, solubilidad y combustibilidad.

La elección del adecuado sistema de depuración de gases es uno de los problemas más importantes de la ingeniería ambiental ya que hay que combinar los aspectos técnicos con los económicos y legales. Desde el punto de vista técnico el depurador debe tener una determinada eficacia y ocupar el mínimo espacio. Desde el punto de vista económico debe realizar sus funciones con el mínimo coste. Por su parte, las consideraciones legales obligan a que el depurador impida el vertido de determinadas sustancias y en determinadas circunstancias sin poder tener en cuenta consideraciones económicas.

Los factores determinantes en la elección de un equipo de depuración dependen del contaminante, de la corriente gaseosa que lo arrastra y de algunas características del producto que finalmente pueda recuperarse. En la tabla 6 se recogen algunas de estas características. La información requerida por la tabla puede obtenerse del análisis de los gases emitidos o de cálculos realizados sobre la marcha del proceso. Indudablemente, la recogida de muestras y su posterior análisis es el método más caro pero más fiable.

Las exigencias legales para los vertidos de cada contaminante fijarán la mínima eficacia que debe conseguirse en cada problema concreto a la vista de los datos disponibles sobre el contaminante y su gas portador.

Por otra parte, los costes de tratamiento se convierten en el criterio más importante a la hora de decidir sobre el control de la contaminación atmosférica. Concretamente, el "coste efectivo" es decir el coste anual de tratamiento dividido por cada tonelada de gases de emisión que hay que tratar se convierte en el común denominador que permite comparar diversas opciones.

Los principales mecanismos empleados en la separación de partículas son: gravedad, inercia, fuerza centrífuga, lavado, filtración y precipitación electrostática.

Los **separadores de gravedad** son cámaras de sedimentación suficientemente grandes en las que la velocidad de la corriente gaseosa se reduce para que las partículas que están en suspensión tengan tiempo suficiente para depositarse. El funcionamiento de estas cámaras exige grandes longitudes para poder separar partículas pequeñas, por ello el sistema sólo se emplea bien como etapa previa a otro sistema o bien para la separación de partículas de gran tamaño (diámetros superiores a 50 μm).

Los **separadores inerciales** funcionan imprimiendo un cambio brusco a la dirección de la corriente gaseosa lo que permite la separación de las partículas debido, principalmente, a su inercia. El empleo de estos sistemas se limita a la captación de partículas de diámetro superior a 20 μm por lo que se emplean como separadores previos.

TABLA 6
PROPIEDADES DEL CONTAMINANTE Y DEL GAS PORTADOR A CONSIDERAR EN LA ELECCION DE UN SISTEMA DEPURADOR

<p style="text-align: center;">¡Error! Marcador no definido. Contaminante</p>	<p style="text-align: center;">Gas Portador</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Distribución del tamaño de partículas ■ Peso molecular ■ Presión de vapor ■ Solubilidad ■ Características de adsorción ■ Límite inferior de explosión ■ Reactividad 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Concentración del contaminante ■ Caudal ■ Temperatura ■ Presión ■ Humedad ■ Concentración de Oxígeno ■ Entalpia ■ Corrosividad ■ Explosividad

Los **separadores centrífugos** reciben el nombre de ciclones. El límite de aplicación de este tipo de separador está en partículas de 5 a 10 μm . de diámetro. Se emplean en instalaciones de funcionamiento continuo como: hornos de cemento, siderurgia y fundiciones, industria química y combustión de carbones.

Los **separadores de capa porosa** se denominan, también, filtros de mangas. Están basados en la retención por choque con un material filtrante de las partículas en suspensión. Dentro de este sistema de retención destacan los filtros de tela y los filtros de

papel. Los filtros de tela se emplean con frecuencia en la retención de partículas de tamaño grande que tienen interés económico. Los elementos filtrantes tienen forma tubular de ahí el nombre de filtros de mangas. Su rendimiento varía con el tiempo y suele alcanzar valores del 99 por 100. Los filtros de papel se denominan filtros de alta eficacia o absolutos. Se emplean en salas estériles de hospitales, instalaciones farmacéuticas y montajes electrónicos de alta precisión. Por contra a los de tela no son recuperables. Alcanzan rendimientos del 99.97 por 100.

Los **separadores por vía húmeda** (scrubbers) emplean un líquido, generalmente agua, para separar las partículas en forma de lodo. Sirven también para separar gases como el cloro y vapores como el de tricloruro de fósforo. Son los equipos más empleados para controlar las emisiones inorgánicas. Normalmente, los separadores vía húmeda alcanzan rendimientos del 90 al 99.99 por 100.

Los **precipitadores electrostáticos** se emplean para eliminar partículas de corrientes gaseosas que pueden ionizarse fácilmente (O_2 , CO_2 , SO_2). La mayoría de estos precipitadores trabajan con rendimientos del 95 al 99 por 100. El rendimiento depende mucho de variables como el caudal de gas, temperatura, humedad, resistividad de las partículas y su distribución de tamaños. Los precipitadores electrostáticos reúnen una serie de ventajas como son su alto rendimiento y su relativamente moderado consumo de energía junto con unas necesidades de mantenimiento no muy exigentes. Pueden trabajar, por otra parte, con gases húmedos.

Por lo que se refiere a la depuración de contaminantes gaseosos, cabe señalar que el control de las emisiones de **vapores orgánicos** es, probablemente, uno de los principales problemas de contaminación atmosférica.

Las tecnologías más utilizadas incluyen la incineración térmica y catalítica, adsorción, condensación y absorción. La elección de una de ellas depende de la concentración de los compuestos orgánicos en el gas de arrastre.

La **incineración térmica** convierte las emisiones gaseosas en dióxido de carbono y agua. Los gases contaminados, una vez captados, se precalientan por contacto indirecto con los gases procedentes de la incineración y, posteriormente, entran en la cámara de combustión. Suele ser necesario un combustible adicional para mantener la combustión debido a que la concentración de gases suele ser pequeña. El tipo de quemador empleado influye en las velocidades de combustión y, por tanto, en los tiempos de residencia. Estos suelen oscilar entre 0.5 a 1 segundos cuando las temperaturas están en el rango de 600 a 800 °C.

Las antorchas son los sistemas de incineración más comúnmente empleados para incinerar emisiones intermitentes y de emergencia.

La **incineración catalítica** es similar a la térmica salvo que en este caso el catalizador rebaja la energía de activación de la oxidación lo que se manifiesta en forma de una temperatura de combustión de unos 300 °C. El catalizador consiste en un material activo (platino, aleaciones de platino, óxido de cobre, cromo, manganeso o níquel) que se deposita sobre un soporte inerte de cerámica con forma de panal. La regeneración del catalizador puede hacerse con soplado de aire o de vapor trabajando a temperaturas unos 30 grados superiores a las de operación.

La **adsorción** consiste en la retención de los compuestos orgánicos en la superficie de

sólidos granulares (carbón activo, gel de sílice, alúmina activada). El carbón activo es el más utilizado.

Esta operación puede servir para eliminar otros compuestos.

Una vez que el sólido está saturado de adsorbato es preciso retirarlo o regenerarlo. Los lechos pueden regenerarse con vapor, aire caliente o una combinación de vacío y gas caliente. Después de una serie de ciclos el adsorbente pierde su capacidad y debe retirarse definitivamente.

La **condensación** es una técnica de separación consistente en llevar la corriente gaseosa hasta la saturación y después condensar los contaminantes. La condensación puede realizarse manteniendo la temperatura constante y subiendo la presión o reduciendo la temperatura mientras se mantiene constante la presión. Generalmente se trabaja a presión constante. Los equipos de condensación más empleados se clasifican en: condensadores de superficie y condensadores de contacto.

La condensación ofrece las ventajas de la recuperación del contaminante, ausencia de problemas de residuos y pequeña necesidad de espacio. Entre los inconvenientes están la limitación de su empleo a corrientes concentradas de contaminante. Su eficacia suele estar comprendida entre el 50 y el 95 por 100 dependiendo de la concentración del contaminante en la corriente gaseosa.

La **absorción** es una operación en la que uno o varios componentes de una corriente gaseosa pasan a un líquido no volátil. La absorción tiene lugar cuando la concentración de los elementos gaseosos en la fase líquida es menor que la concentración de equilibrio. Ese gradiente es la fuerza de transferencia. Los mejores sistemas de absorción se caracterizan por bajas temperaturas de operación, grandes superficies de contacto, altas relaciones líquido/gas y altas concentraciones de los componentes absorbibles en el gas. La eficacia puede ser superior al 98 por 100. Por otra parte, cuando el componente gaseoso es muy soluble en el líquido también pueden conseguirse eficacias altas.

En cuanto a la eliminación de **óxidos de azufre** cabe señalar que los sistemas más empleados son los de lavado húmedo de la corriente gaseosa mediante una solución acuosa de carbonato cálcico, hidróxido cálcico, hidróxido sódico, carbonato o bicarbonato sódico. Otro sistema, también utilizado, es el de lavado semihúmedo con el empleo de un lodo de cal o de carbonato sódico. Los procesos mencionados no permiten la recuperación de los absorbentes empleados aunque los productos obtenidos pueden, en algunos casos comercializarse. Cuando se emplean soluciones de sulfito sódico o de hidróxido magnésico puede recuperarse el absorbente.

Cabe también emplear sólidos como los carbonatos cálcico y magnésico para hacer una desulfuración por vía seca en el propio horno de combustión. Este proceso se emplea cuando el horno de combustión es de lecho fluidificado.

Para asegurar una buena desulfuración se suelen recomendar dos etapas de lavado. La primera consiste en un equipo Venturi que elimina las partículas. La segunda es una torre para eliminar el SO_x .

La eliminación de **óxidos de nitrógeno** se realiza por reducción en diversas modalidades.

La **reducción catalítica selectiva** es uno de los sistemas más eficaces de eliminación de óxidos de nitrógeno. Se emplea amoníaco anhidro o en solución acuosa que reacciona

con los NO_x para formar nitrógeno y agua. La temperatura debe mantenerse en unos márgenes estrechos (230-460 °C) en función del tipo de catalizador. El catalizador puede ser de titanio, vanadio, platino, zeolitas y cerámica y se puede presentar con un gran número de configuraciones (panales, anillos y "pellets"). Algunos catalizadores se han desarrollado para resistir los envenenamientos de SO_2 como los de titanio y zeolitas. Los catalizadores de base metálica son atacados por ácido clorhídrico.

El sistema de **reducción no catalítica** emplea amoníaco o urea en la cámara de combustión o posteriormente en un punto favorable. Al no emplear catalizador precisa de altas temperaturas por lo que no suele emplearse en sistemas con turbinas de gas. El rango óptimo de temperaturas para amoníaco es de 800 a 850 °C mientras que en el caso de la urea se precisan temperaturas de 500 a 900 °C. Aquí también pueden aparecer problemas con la formación de sulfato y bisulfato amónicos así como con el cloruro amónico.

En la eliminación de contaminantes procedentes de automóviles se emplea el sistema de **reducción catalítica no selectiva** que consiste en hacer reaccionar los óxidos de nitrógeno y el oxígeno contenidos en los gases de escape con el monóxido de carbono y los hidrocarburos inquemados, también, presentes en el gas para formar nitrógeno, dióxido de carbono y agua (vapor).

7.- Generación de residuos industriales. Prevención. Tratamientos

Con la denominación de residuos se designan, en general, todas aquellas materias que, generadas en las actividades de producción y consumo, no alcanzan en el contexto en el que se producen ningún valor económico bien porque no existe una tecnología adecuada para su aprovechamiento o bien, porque no existe un mercado para los productos recuperados.

Admitiendo que la mejor gestión de los residuos es evitar su generación, los que finalmente son generados tienen dos alternativas: eliminación o aprovechamiento. Por eliminación se entiende todo el conjunto de operaciones dirigidas al almacenamiento temporal, vertido controlado o destrucción total o parcial sin aprovechamiento de su contenido material o energético.

El aprovechamiento supone, sin embargo, la recuperación o transformación de los recursos contenidos en esos residuos. Es evidente, que una sociedad respetuosa con su medio ambiente debe tender hacia esta segunda opción. Sin embargo, la eliminación sigue siendo en última instancia una alternativa necesaria.

Los residuos, de acuerdo con su origen, pueden clasificarse en: municipales, industriales, de plantas depuradoras y agrícolas.

Los residuos **municipales** o **urbanos** engloban los residuos residenciales o domésticos procedentes de residencias familiares y los comerciales procedentes de hoteles, restaurantes, talleres de reparación, hospitales, mercados, oficinas,.... Están constituidos por restos de alimentos, papeles, cartones, plásticos, maderas, cenizas, ropas, vidrios, envases metálicos, etc., además, hay que añadir los componentes que tienen carácter.

Los residuos municipales suelen incluir, también, los procedentes de carreteras, autopistas, playas, áreas de descanso, campos deportivos, etc.. Estos últimos tienen una composición muy variada incluyendo elementos vegetales en abundancia y, en su caso, animales.

Los residuos **industriales** proceden de instalaciones industriales de cualquier tipo. Comprenden materiales muy diversos que incluyen residuos peligrosos así como los radiactivos.

Los residuos industriales difieren de los urbanos en que son mucho más variados dada la diversidad de sectores industriales. Los más interesantes desde el punto de vista de su aprovechamiento son los constituidos por materiales metálicos, productos químicos, plásticos, papel y cartón.

Los residuos de **plantas de tratamiento** son los que proceden de las instalaciones de tratamiento de aguas de abastecimiento, depuración de aguas residuales y tratamiento de todo tipo de residuos.

Los residuos **agrícolas** están constituidos por elementos vegetales deteriorados o no así como por papeles, plásticos, residuos tóxicos y peligrosos, etc.. Proceden de campos de cultivo, instalaciones ganaderas, bodegas, etc.

Las disposiciones legislativas españolas hacen referencia a tres grandes grupos de

residuos:

- ◆ Residuos sólidos urbanos
- ◆ Residuos peligrosos
- ◆ Residuos radiactivos

Los residuos **peligrosos** son aquellos materiales sólidos, pastosos, líquidos así como los gaseosos contenidos en recipientes que por su contenido, forma de presentación u otras características pueden considerarse como tales.

Las actividades económicas potencialmente generadoras de residuos tóxicos y peligrosos son muy numerosas. Hay que incluir en ellas a las actividades del sector terciario e incluso, desechos de carácter doméstico. También hay que incluir, de forma permanente, a las actividades asistenciales que dan lugar a residuos de carácter sanitario.

Las principales sustancias clasificadas como peligrosas son: metales pesados, constituidos orgánicos e inorgánicos, dibenzo-p-dioxinas, biocidas y productos fitosanitarios, éteres, amianto, hidrocarburos aromáticos policíclicos, fósforo y sus compuestos y compuestos inorgánicos de flúor.

Las legislaciones española y comunitaria no especifican claramente los riesgos para la salud humana y el medio ambiente asociados a los llamados residuos peligrosos. Hay sin embargo, una serie de características que pueden hacer que un determinado compuesto entre en esta categoría, como es el hecho de que sea explosivo, comburente, inflamable, irritante, nocivo, tóxico, cancerígeno, corrosivo, infeccioso, liberador de gas inflamable en contacto con el agua, liberador de humos ácidos en contacto con el aire o el agua, liberador de gases tóxicos en contacto con el aire o el agua o ser capaz de dar alguna sustancia tóxica después de su eliminación.

7.1.- Tratamiento de residuos

El enfoque del tratamiento de residuos es más práctico hacerlo de acuerdo con su clasificación legal. De acuerdo con ello, puede hablarse de tratamiento de residuos sólidos urbanos, tratamiento de residuos peligrosos y tratamiento de residuos radiactivos.

7.1.1.- Tratamiento de residuos asimilables a urbanos

Es frecuente englobar los componentes de los residuos sólidos urbanos en tres grupos: inertes, fermentables y combustibles. Como inertes se consideran: metales, vidrio, restos de reparaciones domiciliarias, tierra, escorias y cenizas. Los elementos fermentables comprenden los restos de alimentos, paja y restos vegetales. Por su parte, los elementos combustibles comprenden: papel, cartón, plásticos, madera, gomas, cueros y textiles.

Los sistemas empleados en el tratamiento de los residuos urbanos son: Vertido controlado, Incineración, Reciclado, Compostaje, Metanización (producción de biogás) y Producción de combustible.

El **vertido controlado** es el procedimiento más simple y barato siendo el más utilizado en España. Consiste en la colocación de los residuos sobre el terreno extendiéndolos en capas de poco espesor y compactándolos para disminuir su volumen. En algunos casos, los materiales se trituran antes de su vertido. Los residuos se cubren con tierra para favorecer la transformación biológica de los materiales fermentables y también para minimizar los riesgos de contaminación ambiental.

Otros aspectos a considerar en el diseño de un vertedero son: producción de lixiviados, formación de gases, ruidos, olores, contaminación del aire, incendios, roedores e insectos y alteración del paisaje.

La **incineración** puede realizarse con o sin recuperación de energía. La incineración sin recuperación de energía es la forma más simple. Permite reducir el volumen de los residuos sólidos domésticos de un 85 a un 90 por 100 de tal forma que al final del proceso los residuos sólidos que es preciso eliminar (cenizas y escoria) suponen, aproximadamente, un 10 por 100 del volumen inicial y su peso es, también, de forma aproximada un 30 por 100 del peso inicial.

La combustión de residuos sólidos libera energía térmica que puede aprovecharse por lo que debe realizarse la incineración con recuperación de calor.

Una tonelada de residuos domésticos equivale a unos 150 litros de fuel-oil y puede producir de 1.5 a 2 Tm de vapor de baja presión y 300 kWh de electricidad.

El **reciclado** tiene por objeto recuperar de forma directa o indirecta los componentes que contienen los residuos sólidos urbanos. Este sistema tiene por objeto disminuir el volumen de residuos junto con una conservación o ahorro de recursos naturales.

El reciclado puede efectuarse de dos formas. Una de ellas consiste en recoger en origen los residuos por separado lo que exige la colaboración ciudadana y se denomina "recogida selectiva". La otra forma supone la separación de la basura bruta en una planta de tratamiento.

Se está trabajando muy intensamente en el diseño de procesos para el reciclado de plásticos. Actualmente, puede hablarse de **reciclado primario** que es el que se consigue cuando pueden obtenerse productos con unas calidades similares a las originales, **reciclado secundario** que es el que permite obtener productos de inferior calidad a los del material de partida y **reciclado terciario** que es el que permite recuperar productos químicos que pueden emplearse en síntesis posteriores por modificación química de los residuos plásticos.

El **compostaje** es un proceso de descomposición aeróbica de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos urbanos en condiciones controladas. La fermentación puede ser natural (al aire libre) o acelerada (en digestores). La diferencia de tiempo es muy acusada ya que, en el primer caso puede durar cerca de tres meses y en el segundo unos quince días.

La **metanización** es un proceso muy adecuado para el tratamiento y valorización de residuos agrícolas y ganaderos. Mediante este proceso se genera metano que se emplea como combustible. el residuo no fermentado puede emplearse como abono orgánico.

El proceso convencional de **fabricación de combustibles sólidos** compactos a partir de toda clase de desperdicios consiste en seleccionar los materiales combustibles de las basuras, secarlos y moldearlos en forma de briquetas por medios mecánicos.

7.1.2.- Tratamiento de residuos peligrosos

Los tratamientos de residuos peligrosos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

incineración y tratamiento fisicoquímico. Las cenizas de incineración y los productos resultantes del tratamiento fisicoquímico se llevan actualmente a vertederos llamados de seguridad.

La **incineración** puede emplearse para eliminar residuos a través de un tratamiento térmico, en el que éstos se emplean como combustibles y se recupera el calor producido en la combustión.

Con carácter general, los residuos que por sus propiedades físicas, químicas y térmicas pueden ser incinerados son los constituidos sólidos y los líquidos, lodos y sólidos orgánicos.

Como consecuencia de la producción de subproductos en la combustión, los sistemas de incineración de residuos tóxicos y peligrosos se diseñan incluyendo diversos dispositivos de control de las emisiones a la atmósfera. En la mayoría de los casos estos sistemas consisten en la utilización de cámaras de postcombustión y lavado de gases.

Las cámaras de postcombustión sirven para proporcionar un volumen adicional de combustión y en consecuencia, un mayor tiempo de combustión a temperatura elevada, con lo que puede controlarse la emisión de subproductos orgánicos no quemados.

Los lavadores funcionan retirando físicamente de la corriente gaseosa la materia particulada, gases ácidos y compuestos orgánicos residuales.

En Europa los incineradores más utilizados para la eliminación de residuos peligrosos son los hornos rotatorios

Los residuos que se someten a **tratamiento fisicoquímico** suelen contener en general sustancias inorgánicas disueltas o en suspensión.

El tratamiento físico-químico y biológico (en su caso) comprende un conjunto de técnicas que pueden emplearse para prevenir la descarga de materiales peligrosos al medio ambiente o alterar su composición.

Los métodos físicos pueden utilizarse como técnicas separadas o complementarias a los métodos químicos o biológicos.

En el campo del tratamiento biológico de residuos peligrosos se avanza en el empleo de microorganismos modificados.

En el tratamiento de residuos tóxicos peligrosos se entiende por **estabilización** el conjunto de técnicas que reducen el peligro potencial de un residuo mediante el paso de sus elementos contaminantes a una forma de menor movilidad, solubilidad o toxicidad.

Dentro de la estabilización, la **solidificación** comprende las técnicas que encapsulan el residuo en un sólido monolítico de alta integridad estructural. La encapsulación puede ser de finas partículas de residuo (microencapsulación) o de un gran bloque o envase de residuos (macroencapsulación). La solidificación no implica necesariamente una interacción química entre los residuos y los agentes solidificantes, pero sí puede suponer el enlace mecánico de los residuos dentro de la masa monolítica.

Los procesos de estabilización/solidificación de mayor difusión son: sorción,

microencapsulación termoplástica y macroencapsulación.

La **sorción** consiste en la adición de una sustancia seca y sólida a un residuo líquido o semilíquido que queda adsorbido mejorando así la manejabilidad del mismo. Los sorbentes más comunes son: tierra, cenizas volantes con polvo de horno de cal y cemento. Los sorbentes, especialmente los naturales, se emplean ampliamente en los vertederos de residuos peligrosos para eliminar el líquido libre.

El tratamiento con cal y cenizas volantes supone la mezcla del residuo con las cenizas hasta conseguir una consistencia pastosa. Después se añade la cal y se mezcla todo nuevamente para producir un sólido mecánicamente fuerte. Entre las desventajas de este método, está el aumento del volumen del producto y una pérdida relativamente importante de sustancias contaminantes por lixiviación del residuo solidificado, lo que requiere disponer de un almacenamiento seguro.

Los procesos que emplean cemento como agente solidificante suelen añadir algún elemento puzolánico como cenizas volantes para aumentar la resistencia y durabilidad. Las lechadas de cenizas volantes y residuos con cemento se pueden mezclar directamente utilizando hormigoneras convencionales. Los residuos extremadamente peligrosos pueden requerir el empleo de equipos de mezcla cerrados y controlados.

La **microencapsulación termoplástica** suele emplear asfalto. Esta técnica desarrollada inicialmente para los residuos radiactivos se adapta perfectamente a los residuos altamente tóxicos.

La **macroencapsulación**, a veces llamada "encamisado", es una técnica de aislamiento de residuos que consiste en envolverlos en una capa impermeable y duradera. Una de estas técnicas implica la clausura de los residuos en un tambor de polietileno. Estas técnicas pueden emplearse para contener residuos tóxicos muy solubles, tales como ácidos minerales no oxidables.

Los sistemas de pretratamiento que acompañan a los procesos de estabilización y solidificación pueden utilizarse para un acondicionamiento del residuo que asegure su mejor y más económico almacenamiento final.

Los métodos de **pretratamiento** buscan alguno o varios de los siguientes objetivos: destrucción de sustancias que pueden reaccionar con los agentes de solidificación, reducción del volumen del residuo a solidificar mediante operaciones de decantación y deshidratación, fijación química de los constituyentes específicos del residuo y la neutralización, oxidación o reducción del residuo transformándolo en una forma inerte o menos soluble.

Antes de decidir la forma más adecuada de tratamiento es obligado realizar unos ensayos para la caracterización física y química de los residuos.

El destino final de los residuos una vez inertizados es el vertedero llamado de seguridad, que es un vertedero emplazado sobre el suelo o el subsuelo donde los residuos se van almacenando sin que sus propiedades nocivas puedan afectar al medio natural y a la salud humana.

La tendencia actual en la eliminación de residuos se basa en un mejor aprovechamiento de las materias primas y de la energía. También se promueve la recuperación eficaz de

los mismos y la creación y fomento de "bolsas de residuos" que faciliten el intercambio de residuos y la utilización por unas determinadas industrias de los residuos producidos por otras. En este sentido, los residuos industriales peligrosos son los que poseen un mayor índice de aprovechamiento y en algunos casos son reciclados en cantidades importantes por las mismas fábricas productoras.

Bibliografía

- Buonicone, A, Davis, W., "Air Pollution Engineering Manual", Edit. Air&Waste Man. Asso., 1992
- Cámara de Comercio Internacional, "Efective Environmental Auditing", Edit. ICC Pub., 1991
- Degremont, "Water treatment Handbook", 6th. Ed. 1991, Lavoisier Pub.
- European Environment Agency, "Environment in the European Union at the turn of the century", EEA, 1999
- Freeman, H. M., "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal", Edit. McGraw-Hill, 1997.
- Generalitat de Catalunya, "Guía para la implantación y el desarrollo de un sistema de gestión medioambiental", Generalitat de Catalunya, 1997
- Gómez Orea, D., "Evaluación de Impacto Ambiental", Edit. Mundi-Prensa, 1999
- Kohl, A., Riesenfeld, F., "Gas Purification", Edit. Gulfpub. Comp.1985
- Metcalf & Eddy, "Ingeniería de aguas residuales", Edit. McGraw Hill, 1995
- Odum, E.P. "Fundamentals of Ecology", 3rd. Ed., W.B. Saunders Publ., Philadelphia 1971
- Tchobanoglous, G. y otros, "Gestión Integral de los Residuos", Edit. McGraw-Hill, 1994.

ANEXO

Legislación medioambiental comunitaria y española que afecta a la actividad industrial

En este anexo se agrupa sistemáticamente la normativa medioambiental que se ha considerado de mayor interés para la industria. En la relación figura, en primer lugar, la legislación de la CE y a continuación la española correspondiente. Se han empleado las siglas:

DIR: Directiva

REG: Reglamento

R.D.: Real Decreto

O.M. : Orden Ministerial

Entre paréntesis figura el Diario oficial o Boletín en el que se publicó.

Contaminación de las aguas

1.- Aguas para consumo humano

- ◆ DIR 75/440 de 16 de junio de 1975, relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable (DOCE L 194 25.07.75)
- ◆ R.D. 927/1988 de 29 de julio (BOE de 31.08.88)
- ◆ O.M. de 11 de mayo de 1988 (BOE 24.05.88)
- ◆ O.M. de 15 de octubre de 1990 que modifica la anterior (BOE 23.10.79)

- ◆ DIR 98/83 de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano (DOCE L 330 de 05.12.98)
- ◆ R.D. 1423/1982 de 18 de junio de 1982 (BOE 29.06.82)
- ◆ O.M. de 1 de julio de 1987 (BOE de 09.07.87)
- ◆ O.M. de 27 de julio de 1983 (BOE de 13.08.83)
- ◆ R.D. 1138/1990 de 14 de septiembre (BOE de 20.09.90)

2.- Sustancias peligrosas

- ◆ DIR 76/464 de 4 de mayo de 1976 relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas al medio acuático (DOCE L 129 de 18.05.76)
- ◆ Ley de Costas 22/88 de 28 de julio de 1988 (BOE de 28.07.88)
- ◆ R.D. 258/1989 de 10 de marzo de 1989 (BOE de 16.03.89)
- ◆ O.M. de 31 de Octubre de 1989 (BOE de 11.11. 89)
- ◆ O.M. de 9 de mayo de 1991 (BOE de 15.05.91)
- ◆ O.M. de 28 de octubre de 1992 (BOE de 06.11.92)
- ◆ Ley de aguas 29/85 de 2 de agosto de 1985 (BOE de 08.08.85)
- ◆ R.D. 849/1986 de 11 de abril de 1986 (BOE de 30.04.86)
- ◆ O.M. de 19 de diciembre (BOE de 23.12.89)
- ◆ R.D. 927/88 de 29 de julio de 1988 (BOE de 31.08.88)
- ◆ O.M. de 28 de junio de 1991 (BOE de 08.07.91)
- ◆ O.M. de 28 de octubre de 1992 (BOE de 06.11.92)
- ◆ R.D. 1315/92 de 30 de octubre de 1992 (BOE de 01.12.92)
- ◆ R.D. 419/93 de 26 de marzo de 1993 (BOE de 14.04.93)
- ◆ R.D. 1771/94 de 5 de agosto de 1994 (BOE de 19.08.94)

- ◆ R.D. 484/95 de 7 de abril de 1995 (BOE de 21.04.95)
- ◆ DIR 80/68 de 17 de diciembre de 1979 relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas (DOCE I 20 de 26.01.80)
- ◆ Ley de aguas 29/85 de 2 de agosto de 1985 (BOE de 08.08.85)
- ◆ R.D. 849/1986 de 11 de abril de 1986 (BOE de 30.04.86)
- ◆ DIR 82/176 de 22 de marzo de 1982 relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio del sector de la electrólisis de los cloruros alcalinos (DOCE L 81 de 27.03.82)
- ◆ O.M. de 12.11.87 (BOE de 23.11.87 y BOE de 18.04.88)
- ◆ O.M. de 31.10.89 (BOE de 11.11.89)
- ◆ O.M. de 25.05.92 (BOE de 29.05.92)
- ◆ DIR 83/513 de 26 de septiembre de 1983 relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de cadmio (DOCE L 291 de 24.10.85)
- ◆ O.M. de 12 de noviembre de 1987 (BOE 23.11.87)
- ◆ O.M. de 31 de octubre de 1989 (BOE 11.11.89)
- ◆ DIR 84/156 de 8 de marzo de 1984 relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los vertidos de mercurio de los sectores distintos de la electrólisis de los cloruros alcalinos (DOCE L 74 de 17.03.84)
- ◆ O.M. de 12 de noviembre de 1987 (BOE de 23.11.87)
- ◆ O.M. de 31 de octubre de 1989 (BOE de 11.11.89)
- ◆ DIR 84/491 de 9 de octubre de 1984 relativa a valores límite y a los objetivos de calidad para vertidos de hexaclorociclohexano (DOCE L 274 de 17.10.84)
- ◆ O.M. de 12 de noviembre de 1987 (BOE 23.11.87)
- ◆ O.M. de 27 de febrero de 1991 (BOE 02.03.91)
- ◆ O.M. de 31 de Octubre de 1989 (BOE 11.11.89)
- ◆ O.M. de 9 de mayo de 1991 (BOE 15.05.91)
- ◆ DIR 86/280 de 12 de junio de 1986 relativa a valores límite y a los objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas comprendidas en la lista I del anexo de la DIR 76/464 (DOCE L 181 de 04.07.86 y DOCE 15.07.86), modificada posteriormente por DIR 88/347
- ◆ O.M. de 12 de noviembre de 1987 (BOE 23.11.87)
- ◆ O.M. de 31 de Octubre de 1989 (BOE 11.11.89)
- ◆ R.D. 258/1989 de 10 de marzo de 1989 (BOE de 16.03.89)
- ◆ O.M. de 13 de marzo de 1989 (BOE de 20.03.89)
- ◆ O.M. de 25 de mayo de 1992 (BOE de 29.05.92)
- ◆ DIR 88/347 de 16 de junio de 1988 por la que se modifica el anexo II de la Directiva 86/280 relativa a los valores límite y a los objetivos de calidad para los residuos de determinadas sustancias peligrosas comprendidas en la lista I del anexo de la Directiva 76/464 (DOCE L 158 de 25.06.88)
- ◆ O.M. 13 de marzo de 1989 (BOE 11.11.89)
- ◆ O.M. de 31 de Octubre de 1989 (BOE 11.11.89)
- ◆ DIR 91/271 de 21 de mayo de 1991 sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas (DOCE L 135 de 30.05.91)

- ◆ Resolución de 28 de abril de 1995 por la que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (BOE 12.05.95)
- ◆ R.D.-Ley 11/95 de 28 de diciembre (BOE 30.12.95)
- ◆ R.D. 509/1996 de 15 de marzo (BOE de 29.03.96)
- ◆ R.D. 2116/1998 de 2 de octubre (BOE de 20.10.98)

- ◆ DIR 91/676 de 12 de diciembre relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (DOCE L 375 de 31.12.91)
- ◆ R.D. 261/1996 de 16 de febrero (BOE de 11.03.96)

Contaminación atmosférica

- ◆ DIR 70/220 de 20 de marzo de 1970 relativa a las medidas que deben adoptarse contra la contaminación atmosférica causada por las emisiones de los vehículos de motor (DOCE L 76 de 06.04.70), modificada en varias ocasiones y, finalmente modificada por DIR 99/102 (DOCE L 334 de 28.12.99)
- ◆ R.D. 2028/86 (BOE de 02.10.86)
- ◆ O.M. de 4 de febrero de 1988 (BOE de 16.02.88)
- ◆ O.M. de 10 de abril de 1989 (BOE de 22.04.89)
- ◆ O.M. de 24 de noviembre de 1989 (BOE de 16.02.89 y 29.06.90)
- ◆ O.M. de 17 de febrero de 1999 (BOE de 26.02.99)

- ◆ DIR 72/306 de 2 de agosto de 1972 relativa a las medidas que deben adoptarse contra las emisiones contaminantes procedentes de los vehículos con motores Diesel destinados a la propulsión de vehículos (DOCE L 190 de 20.08.72), modificada por última vez mediante DIR 97/20 de 18 de abril de 1997 (DOCE L 125 de 16.05.97)
- ◆ DIR 88/77 (DOCE L 36 de 09.02.88) relativa a las medidas que deben adoptarse contra las emisiones contaminantes procedentes de los vehículos con motores Diesel, modificada en varias ocasiones y la última mediante DIR 99/96 de 13 de diciembre de 1999 (DOCE L 44 de 16.02.00)
- ◆ R.D. 2028/86 (BOE de 02.10.86)
- ◆ O.M. de 4 de febrero de 1988 (BOE de 16.02.88)
- ◆ O.M. de 10 de abril de 1989 (BOE de 22.04.89)
- ◆ O.M. de 24 de noviembre de 1989 (BOE de 16.02.89 y 29.06.90)
- ◆ O.M. de 17 de febrero de 1999 (BOE de 26.02.99)

- ◆ DIR 88/77 de 3 de diciembre de 1987 sobre las medidas que deben adoptarse contra la emisión de contaminantes procedentes de vehículos equipados con motores Diesel (DOCE L 36 09.02.88), modificada por DIR 91/542 de 1 de octubre (DOCE L 295 de 25.10.91)
- ◆ R.D. 2028/86 (BOE de 02.10.86)
- ◆ O.M. de 4 de febrero de 1988 (BOE de 16.02.88)
- ◆ O.M. de 10 de abril de 1989 (BOE de 22.04.89)
- ◆ O.M. de 3 de septiembre de 1990

- ◆ DIR 99/94 de 13 de diciembre relativa a la información sobre el consumo de combustible y sobre las emisiones de CO₂ facilitada al consumidor al comercializar turismos nuevos (DOCE L 12 de 18.01.00)

- ◆ DIR 99/100 de 15 de diciembre por la que se adapta al progreso técnico la DIR 80/1268 relativa a las emisiones de dióxido de carbono y al consumo de combustible de los vehículos de motor (DOCE L 334 de 28.12.99)
- ◆ DIR 84/360 de 28 de junio relativa a la lucha contra la contaminación atmosférica procedente de las instalaciones industriales (DOCE L 188 de 16.07.84)
- ◆ Ley 38/72 de 22 de diciembre (BOE de 26.12.72)
- ◆ R.D. 1302/86
- ◆ R.D. 833/75 de 6 de febrero (BOE de 22.04.75)
- ◆ O.M. de 18 de octubre de 1976 (BOE de 03.12.76)
- ◆ O.M. de 25 de junio de 1984 (BOE de 04.07.84)
- ◆ DIR 87/217 de 19 de marzo de 1987 sobre prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto (DOCE L 85 de 28.03.87)
- ◆ R.D. 108/91 de 1 de febrero (BOE de 06.02.91)
- ◆ DIR 88/609 de 24 de noviembre de 1988 sobre limitación de emisión a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión (DOCE L 336 de 07.12.88) cuya última modificación la constituye la DIR 99/66
- ◆ R.D. 646/1991 de 22 de abril (BOE de 25.04.91)
- ◆ R.D. 1800/1995 de 3 de noviembre (BOE 08.12.95)
- ◆ O.M. de 26 de diciembre de 1996 (BOE de 30.12.95)
- ◆ DIR 89/369 de 8 de junio de 1989 relativa a la prevención de la contaminación atmosférica procedente de nuevas instalaciones de incineración de residuos municipales (DOCE L 203 de 15.07.89)
- ◆ R.D. 1088/1992 de 11 de septiembre (BOE de 30.09.92)
- ◆ DIR 89/429 de 21 de julio de 1989 relativa a la reducción de la contaminación atmosférica procedente de instalaciones existentes de incineración de residuos municipales.
- ◆ R.D. 1088/1992 de 11 de septiembre (BOE de 30.09.92)
- ◆ DIR 94/67 relativa a la incineración de residuos peligrosos
- ◆ R.D. 1217/1997 de 18 de julio (BOE de 08.08.97)
- ◆ REG 3093/94 de 15 de diciembre relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono (DOCE L 333 de 22.12.94)
- ◆ DIR 92/72 de 21 de septiembre sobre la contaminación atmosférica por ozono(DOCE L 297 de 13.10.92)
- ◆ Ley 4/1998 de 3 de marzo (BOE de 04.03.98)
- ◆ R.D. 1494/95 de 8 de septiembre (BOE de 26.09.95)
- ◆ DIR 93/12 de 23 de marzo de 1993 relativa al contenido de azufre de determinados combustibles líquidos (DOCE L 74 de 1993), modificada por DIR 99/32 de 26 de abril (DOCE L 121 de 11.05.99)
- ◆ R.D. 2204/75 de 23 de agosto (BOE de 19.09.75)
- ◆ R.D. 2482/86 de 25 de septiembre (BOE de 05.12.86)
- ◆ R.D. 1485/87 de 4 de diciembre (BOE de 05.12.87)
- ◆ O.M. de 29 de junio de 1990 (BOE de 30.06.90)

- ◆ R.D. 398/96 de 1 de marzo (BOE de 03.04.96)
- ◆ DIR 78/611 de 29 de junio de 1978 relativa a la aproximación de las legislaciones sobre el contenido en plomo de las gasolinas (DOCE L 197 de 22.07.78), modificada por DIR 85/210 de 20 de marzo de 1985 (DOCE L 96 de 03.04.85), modificada ésta última por DIR 87/416 de 21 de julio de 1987 (DOCE L 225 de 13.08.87)
- ◆ R.D. 1513/88 de 9 de diciembre (BOE de 19.12.88)
- ◆ DIR 75/324 de 20 de mayo de 1975 sobre los generadores de aerosoles (DOCE L 147 de 09.06.75) modificada por DIR 94/1 de 6 de enero (DOCE L 23 de 28.01.94)
- ◆ R.D. 472/1988 de 30 de marzo (BOE 20.05.88)
- ◆ DIR 99/30 de 22 de abril de 1999 relativa a los valores límite de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo (DOCE L 163 de 29.06.99)
- ◆ DIR 80/779 de 15 de julio de 1980 relativa a los valores límite y a los valores guía de calidad atmosférica para el anhídrido sulfuroso y las partículas en suspensión (DOCE L 229 de 30.08.80), modificada por DIR 89/427 de 21 de junio de 1989 (DOCE L 201 de 14.07.89)
- ◆ DIR 82/884 de 3 de diciembre de 1982 relativa al valor límite para el plomo contenido en la atmósfera (DOCE L 378 de 31.12.82)
- ◆ DIR 85/203 de 7 de marzo de 1985 relativa a las normas de calidad del aire para el dióxido de nitrógeno (DOCE L 87 de 27.03.85)
- ◆ R.D. 1613/85 (BOE de 12.09.85)
- ◆ R.D. 1154/86 (BOE de 19.06.86)
- ◆ R.D. 1321/1992 de 30 de octubre (BOE 02.12.92)
- ◆ R.D. 717/87 (BOE 06.06.87)

Contaminación debida a residuos

1.- Residuos en general y residuos urbanos

- ◆ DIR 75/442 de 15 de julio de 1975 relativa a los residuos (DOCE L 194 de 25.07.75), modificada por DIR 91/156 de 18 de marzo de 1991 (DOCE L 78 de 26.03.91)
- ◆ Ley 10/98 de 21 de abril (BOE 22.04.98)
- ◆ R.D. 1163/86 (BOE 23.06.86)
- ◆ Recomendación 81/972 de 3 de diciembre de 1981 relativo a la reutilización del papel usado y a la utilización del papel reciclado (DOCE L 355 de 10.12.81)
- ◆ DIR 94/62 relativa a los envases y residuos de envases (DOCE L 365 de 31.12.94)
- ◆ Ley 11/97 de 24 de abril (BOE 25.04.97)
- ◆ R.D. 782/98 de 30 de abril (BOE 01.05.98)
- ◆ O.M. de 27 de abril (BOE 01.05.98)
- ◆ DIR 86/278 de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura (DOCE L 181 de 04.07.86)
- ◆ R.D. 1310/90 de 29 de octubre de 1990 (BOE de 01.11.90)
- ◆ O.M. de 14 de julio de 1988 (BOE de 10.08.88)
- ◆ DIR 89/369 de 8 de junio de 1989 relativa a la prevención de la contaminación atmosférica procedente de nuevas instalaciones de incineración de residuos

- municipales (DOCE L 203 de 15.07.89)
- ◆ R.D. 1088/1992 de 11 de septiembre (BOE de 30.09.92)
- ◆ R.D. 1217/97 de 18 de julio (BOE de 08.08.97)
- ◆ DIR 89/429 de 21 de julio de 1989 relativa a la reducción de la contaminación atmosférica procedente de instalaciones existentes de incineración de residuos municipales.
- ◆ R.D. 1088/1992 de 11 de septiembre (BOE de 30.09.92)
- ◆ R.D. 1217/97 de 18 de julio (BOE de 08.08.97)
- ◆ DIR 1999/31 de 26 de abril relativa al vertido de residuos (DOCE L 182 de 16.07.99)

2.- Residuos peligrosos

- ◆ DIR 78/319 de 20 de marzo de 1978 relativa a los residuos tóxicos y peligrosos (DOCE L 84 de 31.03.78), sustituida por DIR 91/689 de 12 de diciembre (DOCE L 377 de 31.12.91) y esta última modificada por DIR 94/31 de 27 de junio (DOCE L 168 de 02.07.94)
- ◆ Decisión del 22 de diciembre de 1994 por la que se establece una lista de residuos peligrosos (DOCE L 356/14 de 31.12.94)
- ◆ Ley 10/98 de 21 de abril (BOE 22.04.98)
- ◆ R.D. 833/88 (BOE de 30.07.88)
- ◆ O.M. de 13 de octubre de 1989 (BOE de 10.11.89)
- ◆ Resolución de 28 de abril por la que se publica la aprobación del Plan Nacional de Residuos Peligrosos (BOE 13.05.95)
- ◆ R.D.952/1997 de 20 de junio (BOE de 05.07.97)
- ◆ DIR 75/439 de 16 de junio de 1975 relativa a la gestión de aceites usados (DOCE L 194 de 25.07.75)
- ◆ O.M. de 28 de febrero de 1989 (BOE de 08.03.89)
- ◆ O.M. de 13 de junio de 1990 (BOE de 21.06.90)
- ◆ DIR 96/59 de 16 de septiembre de 1996 relativa a la eliminación de los policlorobifenilos y policloroterfenilos (DOCE L 243 de 24.09.96)
- ◆ O.M. de 14 de abril de 1989 (BOE de 29.04.89)
- ◆ DIR 78/176 de 20 de febrero de 1978 relativa a los residuos procedentes de la industria del dióxido de titanio (DOCE L 54 de 25.02.78), modificada por DIR 83/29 de 24 de enero de 1983 (DOCE L 32 de 03.02.83), completada con DIR 82/883 de 3 de diciembre de 1982 (DOCE L 378 de 31.12.82) y finalmente modificada por DIR 92/112
- ◆ O.M. de 28 de julio de 1989 (BOE de 11.08.89)
- ◆ O.M. de 18 de abril de 1991 (BOE de 29.04.91)
- ◆ DIR 91/157 de 18 de marzo de 1991 relativa a las pilas y a los acumuladores que contengan determinadas materias peligrosas (DOCE L 78 de 26.03.91) finalmente modificada por DIR 98/101 de 22 de diciembre de 1998 (DOCE L 1 de 05.01.99)
- ◆ R.D. 45/96 de 19 de enero (BOE de 24.02.96)
- ◆ DIR 94/67 de 16 de diciembre de 1994 relativa a la incineración de residuos peligrosos (DOCE L 365 de 31.12.94)
- ◆ R.D. 1217/97 de 18 de julio (BOE de 08.08.97)

3.- Traslado transfronterizo de residuos peligrosos

- ◆ REG 259/93 de 1 de febrero de 1993 (DOCE L 30 de 06.02.93), modificado por REG 120/97 de 20.01.97 (DOCE L 22 de 24.01.97)
- ◆ REG 1420/99 de 29 de abril de 1999 (DOCE L 166 de 01.07.99)
- ◆ REG 1547/99 de 12 de julio de 1999 (DOCE L 185 de 17.07.99)
- ◆ Decisión de 24 de noviembre de 1999 por la que se adaptan los anexos II, III, IV y V del REG 259 (DOCE L 316 de 10.12.99)
- ◆ O.M. de 12 de marzo de 1990 (BOE de 16.03.90)
- ◆ REG 120/97 de 20 de enero de 1997 (DOCE L 24.01.97)

4.- Radiactivos

- ◆ Decreto 2669/1972 de 21 de julio por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (BOE de 24.10.72)
- ◆ DIR 96/29/EURATOM de 13 de mayo de 1996 por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes (DOCE L 159 de 29.06.96)
- ◆ R.D. 53/1992 de 24 de enero (BOE de 12.02.92)
- ◆ R.D. 413/1997 de 21 de marzo (BOE de 16.04.97)
- ◆ REG 1493/93 de 8 de junio de 1993 relativo a los traslados de sustancias radiactivas entre los Estados miembros (DOCE L 148 de 1993)
- ◆ R.D. 2088/94 de 20 de octubre relativo a la vigilancia y control de traslados de residuos radiactivos entre estados miembros o procedentes o con destino al exterior (BOE 26.11.94)

5.- Suelos

Resolución de 28 de abril de 1995 por la que se dispone la publicación de la aprobación del Plan Nacional de Recuperación de Suelos contaminados (BOE 13.05.95)

Varios

- ◆ DIR 96/61 de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y control integrados de la contaminación (DOCE L257 de 10.10.96)
- ◆ DIR 96/82 de 9 de diciembre de 1996 relativa al control de los riesgos de accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas (DOCE L 10 de 14.01.97)
- ◆ R.D. 1254/99 de 20 de junio (BOE de 20.07.99)
- ◆ DIR 85/337 de 27 de junio de 1985 relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (DOCE L 175 de 05.07.85), modificada por DIR 97/11 de 3 de marzo de 1997 (DOCE L 73 de 14.03.97)
- ◆ R.D. 1302/1986 de 28 de junio (BOE de 30.06.86)
- ◆ R.D. 1131/1988 de 30 de septiembre (BOE de 05.10.88)

- ◆ REG 880/92 relativo a un sistema comunitario de concesión de etiqueta ecológica (DOCE L 90 de 11.04.92)
- ◆ Decisión de 13 de mayo de 1993 por la que se establecen directrices indicativas sobre el establecimiento de los cánones relativos a la etiqueta ecológica comunitaria (DOCE L 129 de 1993)

- ◆ REG 1836/93 de 29 de junio de 1993 por el que se permite que las empresas del sector industrial se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (DOCE L 168 de 10.07.93)
- ◆ R.D. 85/1996 de 26 de enero (BOE de 21.02.96)